

# ADDENDUM

## Estimations des flux naturels selon le modèle MPO

JC Maurin 2026

### Résumé

- Le dimensionnement des 4 flux naturels repose principalement sur les mesures de  $[CO_2]$ ,  $\delta^{13}C$  et SSTi. Ces observations sont effectuées dans les **2 hémisphères** entre 1980 et 2025. Les mesures  $[CO_2]$ , collectées dans [les 4 observatoires 'baseline' de la NOAA](#), permettent d'obtenir la masse **moyenne** de carbone dans l'atmosphère =  $X(t)$ .
- Les estimations des échanges naturels proposées par le modèle MPO restent globalement proches ( $\pm 25\%$  sauf pour F1) de celles proposées par le GIEC dans ses rapports Arx WG1 (voir fig.3).

Le modèle **MPO (Mixte Proportionnel Océan)** se conforme aux 3 compartiments et aux 4 flux naturels utilisés dans les rapports du GIEC. Cette simplification est ici mise en œuvre sur une période limitée, couvrant les années **1980 à 2025**.

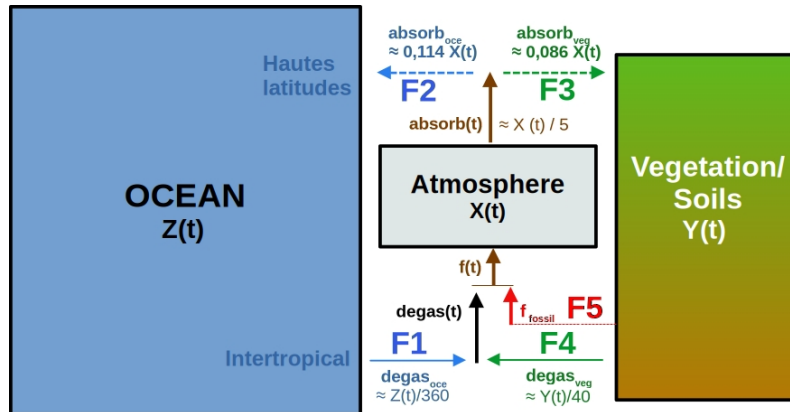


Figure 1 : Les notations des 5 flux et des stocks des 3 compartiments (figure 15 dans 'Revisiting the carbon cycle')  
**Stocks X, Y, Z** : 1 ppm = 0,0001 %  $\rightarrow$  7,8 Gt- $CO_2$  =  $7,8 \times 10^{12}$  kg de  $CO_2$   $\rightarrow$  2,12 Gt-C =  $2,12 \times 10^{12}$  kg de carbone  
**Flux F1, F2, F3, F4, F5** : 1ppm/an  $\rightarrow$  2,12 Gt-C/an ; 1 Gt-C/an  $\rightarrow$  3,67 Gt- $CO_2$ /an  $\rightarrow$  0,47 ppm/an

## 1. Les flux sortant de l'atmosphère F2 et F3

### 1.1 Dimensionnement de F3

Le flux 3 est calibré de manière à :

- correspondre aux estimations de la NPP selon [Haverd et al, 2009](#).
- être proportionnel à la concentration du  $CO_2$  atmosphérique.
- quasi compatible avec les 6 rapports WG1 du GIEC  $\rightarrow F3 \approx 0,078 X(t)$

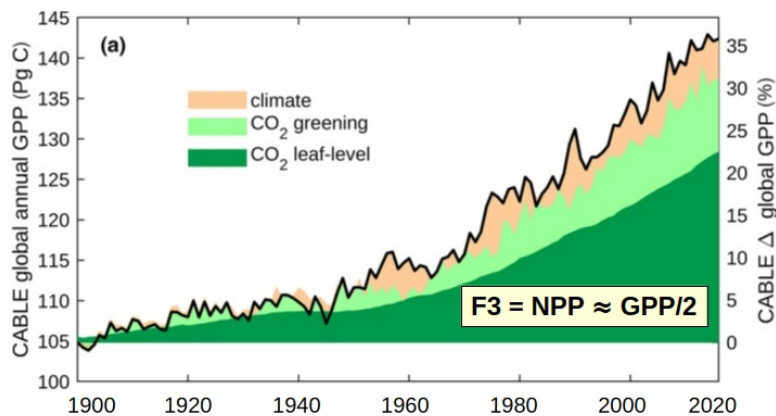


Figure 2 :  $GPP \approx 2 * NPP$  selon figure 2 dans Haverd et al, 2019 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/gcb.14950>

Pour la fixation **pluriannuelle effective** du carbone par la végétation, c'est-à-dire via le flux F3, on doit utiliser la **Net Primary Production**  $\rightarrow NPP \approx GPP/2$  avec  $GPP =$  **Gross Primary Production** ([voir ici](#)).

Dates	Assessment Report	Flux en Gt-C /an				X(t) $\rightarrow$ [CO <sub>2</sub> ] en Gt-C	Durée de séjour (an) = X(t) / (flux 2 + flux 3)		
		Flux 2	F2/X(t)	Flux 3 si GPP	Flux 3 si NPP		F3/X(t)	Si flux 3 = GPP	Si flux 3 = NPP
1990	AR1 fig 1.1	92	12,3 %	102	51	6,8 %	750	3,87	5,24
1995	AR2 fig 2.1	92	12,3 %	GPP ?	61,8	8,2 %	750	GPP ?	4,88
2001	AR3 fig 3.1a	90	11,9 %	120	60	7,9 %	730? 755	3,60	5,03
2007	AR4 fig 7.3	92,2	12,1 %	122,6	61,3	8,0 %	762	3,55	4,96
2013	AR5 fig 6.01	80	9,7 %	123	61,5	7,4 %	829	4,08	5,86
2021	AR6 fig 5.12	79,5	9,1 %	142	71	8,2 %	870	3,93	5,78
Moyenne (F2+F3) / X(t) = 19 % = 1 / 5,3 11,2 % + 7,8 % = 19 %			11,2 % = Moyenne		Moyenne = 7,8 %		Moyenne durée de séjour (an)	3,8	5,3

Figure 3 : Selon les 6 rapports WG1 du GIEC, en moyenne on a  $F2 \approx 0,112 X(t)$  et  $F3 \approx 0,078 X(t)$

On adopte finalement  $F3 = 0,086 X(t)$ , compatible avec [Haverd et al. 2009](#) et proche de  $0,078 X(t)$  = moyenne des 6 rapports WG1 du GIEC.

## 1.2 Dimensionnement de F2

Le flux 2 est calibré de manière à être :

- proportionnel à la concentration du  $CO_2$  atmosphérique.
- quasi compatible avec la [figure 3.1a](#) du rapport AR3 WG1 du GIEC  $\rightarrow F2 \approx 90 \text{ Gt-C/an} \pm 25 \% \text{ vers } 2000$
- compatible avec le choix précédent de  $F3 = 0,086 X(t)$ .

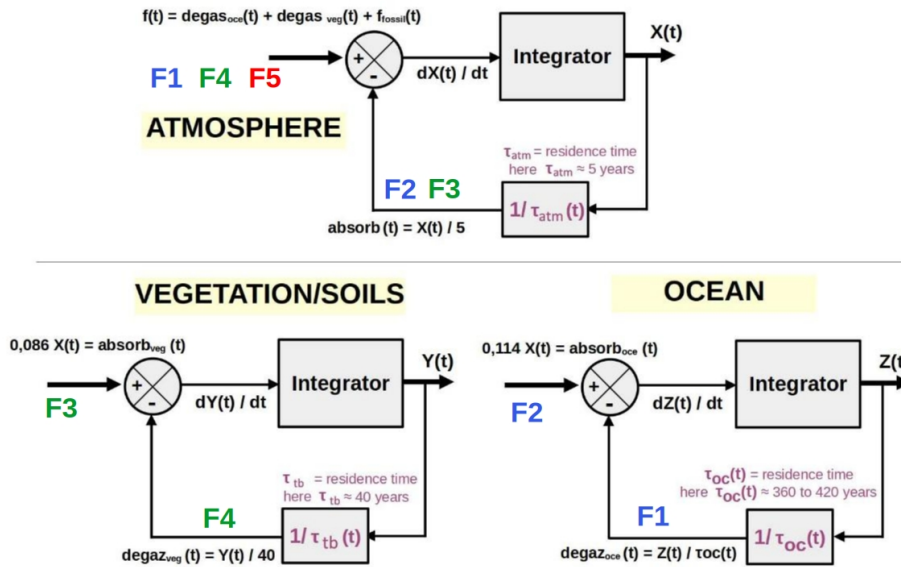


Figure 4 : Les 3 compartiments ont un modèle simple en commun mais des durées de séjour dissemblables  $\rightarrow \tau = \text{Stock} / \text{flux sortant}$  (d'après figure 14 dans [Revisiting the carbon cycle](#))

Le modèle MPO adopte une durée de séjour constante de 5 ans dans l'atmosphère.

On a donc  $(F2 + F3) = X(t)/5 = F2 + 0,086 X(t)$ . On adopte finalement  $F2 = 0,114 X(t)$ .

## 2. Les flux entrant dans l'atmosphère F1 et F4

On se conforme aux modèles simples de la figure 4 : les flux seront dimensionnés par une expression utilisant les stocks  $Y(t)$  et  $Z(t)$  ainsi que la durée de séjour du compartiment.

Le chiffrage va exploiter les observations 1980-2025 (taux et  $\delta^{13}C$ ) du  $CO_2$  atmosphérique.

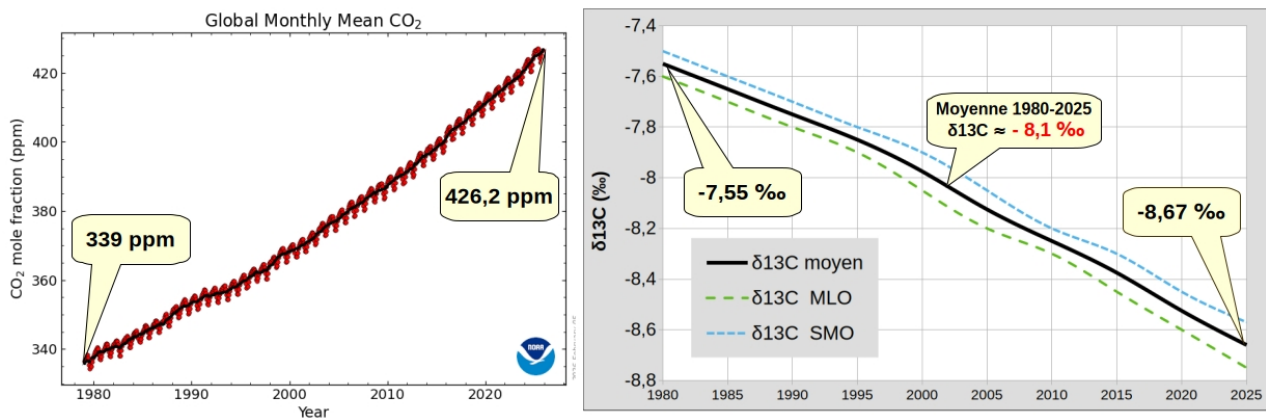


Figure 5 : Taux de  $CO_2$  atmosphérique global selon [NOAA](#) (1 ppm  $\rightarrow$  2,12 Gt-C);  $\delta^{13}C$  dans l'atmosphère selon [Scripps  \$CO\_2\$](#)

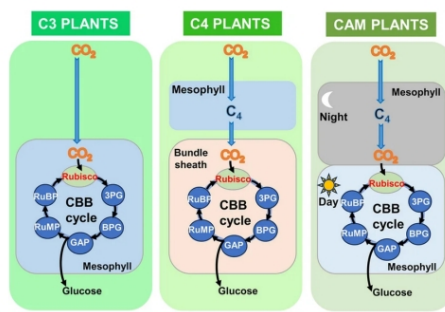
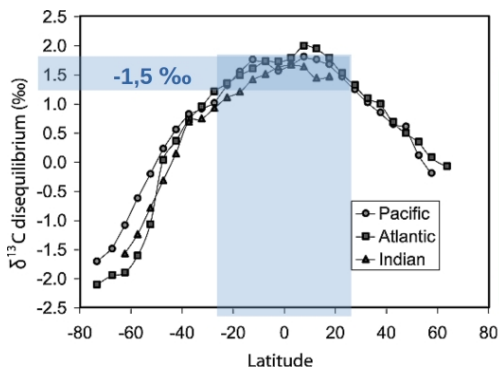
Entre 1980\* et 2025 le taux de  $CO_2$  dans l'atmosphère augmente :  $426,2 - 339 = +87,2 \text{ ppm}$  soit l'apport net  $\approx +185 \text{ Gt-C}$ . Cet apport net doit être tel que  $\delta^{13}C = -13,0 \text{ ‰}$  car entre 1980 et 2025 on a :

$$\text{ppm} : (339 * -7,55) + (87,2 * -13,0) = (426,2 * -8,67)$$

$$\text{Gt-C} : (719 * -7,55) + (185 * -13,0) = (904 * -8,67)$$

\* 1980 car on doit disposer des mesures de  $\delta^{13}C$  et du taux de  $CO_2$  dans les 2 hémisphères.

[Koutsoyiannis 2024a](#) obtient dans sa fig.10 des valeurs similaires pour les apports net :  $-12,9 \text{ ‰} > \delta^{13}C > -13,3 \text{ ‰}$



Plants	ratio	δ13C (‰)	ratio x δ
C3	85 %	-25	-21,3
C4	14 %	-13	-1,8
CAM	1 %	-18	-0,2
Average =			<b>-23,3</b>

Figure 6 : Pour  $\delta^{13}\text{C}$ , l'apport net océan intertropical est < de 1,5 ‰ à l'atmosphère (fig 8 Quay et al., 2003) →  $-8,1 - 1,5 \approx -9,6\%$   
 Pour l'apport net Végétation/Sols,  $\delta^{13}\text{C}$  dépend du type de végétation → en moyenne on a  $\delta^{13}\text{C} \approx -23,3\%$

## 2.1 Dimensionnement des apports nets vers l'atmosphère depuis Océan et Végétation/sols

- Entre 1980 et 2025 le flux anthropique apporte 360\* Gt-C à l'atmosphère, mais la croissance n'est que de 185 Gt-C. Selon le modèle du GIEC, les compartiments Océan et Végétation/Sols absorberaient environ la moitié des 360 Gt-C anthropique, en sorte de retrouver la croissance de 185 Gt-C observée dans l'atmosphère.

\* ~1260 Gt-CO<sub>2</sub> soit ~343 Gt-C selon [World Energie Outlook](#) mais le GIEC ajoute environ 5 % de LUC →  $343 * 1,05 \approx 360$  Gt-C

- On désigne par z l'apport net venu de l'océan et par y l'apport net venu de Végétation/Sols. Selon le modèle GIEC, on aurait donc  $z \approx y \approx -(360-185)/2 = -87,5$  Gt-C (les 2 compartiments seraient des puits de carbone). Le tableau ci-dessous montre que les observations contredisent ce modèle du GIEC.

Bilan 1980-2025	Anthropique	Océan	Végétation/sols	Apport net
Atmosphère in (Gt-C)	360			
Atmosphère out (Gt-C)				
<b>Net (Gt-C)</b>	<b>360</b>	<b>-87,5</b>	<b>-87,5</b>	<b>185</b> Gt-C
δ13C (‰)	<b>-29</b>	<b>-9,6</b>	<b>-23,3</b>	<b>-40,9</b> ‰
Net x δ13C	-10440	837	2040	<b>-7563</b>
<b>Min (‰)</b>	<b>-31</b>	<b>-6,0</b>	<b>-20,0</b>	<b>-48,0</b> ‰
Net x δ13C	-11160	525	1750	-8885
<b>Max (‰)</b>	<b>-27</b>	<b>-12,0</b>	<b>-28,0</b>	<b>-33,6</b> ‰
Net x δ13C	-9720	1050	2450	-6220

Figure 7a : Le modèle GIEC ne permet pas de retrouver un apport net de 185 Gt-C avec  $\delta^{13}\text{C} = -13\%$   
 $360 + -87,5 + -87,5 = 185$  ; mais  $-10440 + 837 + 2040 = -7563$  et  $-7563 / 185 = -40,9 \%$

En partie basse, même pour une large plage de valeurs  $\delta^{13}\text{C}$ , on montre que  $\delta^{13}\text{C}$  de l'apport net reste très éloigné de -13 ‰ (-48 ‰ à -33,6 ‰). Voir également les pages 22-24 dans [The Cause Of Earth's Climate Change Is The Sun](#).

- Selon le modèle MPO (en contradiction avec le modèle GIEC) l'océan est une source nette vis-à-vis de l'atmosphère c'est-à-dire que z est positif →  $F1 > F2$ .

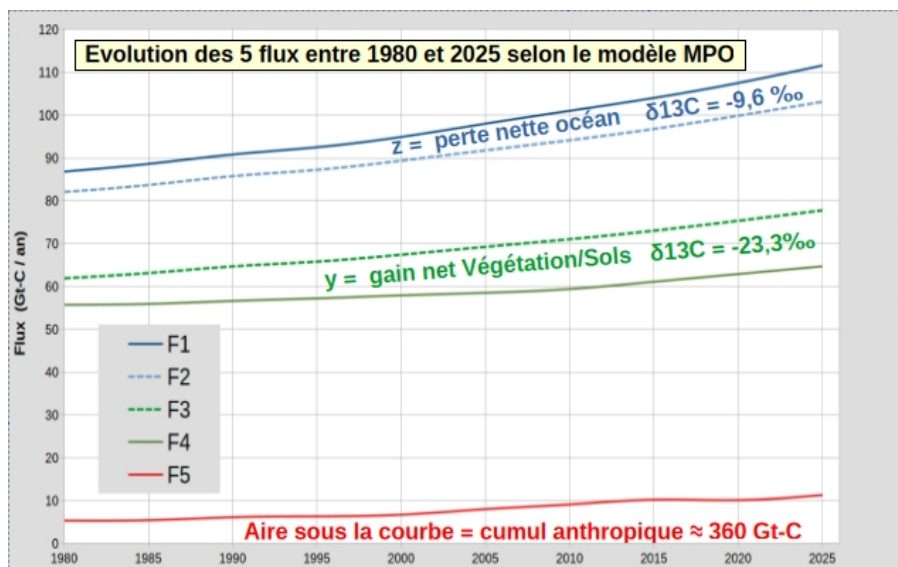


Figure 7b : Selon MPO, l'Océan est une source nette pour l'atmosphère ( $F1 > F2$ ) alors que Végétation/Sols est un puits ( $F3 > F4$ ). Toutefois la somme (Océan + Végétation/Sols) constitue globalement un puits ( $y > z$ ) vis-à-vis de l'atmosphère.

Afin de respecter les observations de la fig.5 (elles impliquent un apport total net de 185 Gt-C avec  $\delta^{13}\text{C} = -13,0\%$  entre 1980 et 2025) on doit simultanément avoir (en Gt-C) :

$$360 + z + y = 185$$

$$(360 * -29) + (z * -9,6) + (y * -23,3) = 185 * -13,0$$

La résolution du système de 2 équations donne :  $z = 288 \text{ Gt-C}$  et  $y = -463 \text{ Gt-C}$ . On a  $(y+z) = -463+288 = -175$ . L'apport net de l'océan = z est bien positif mais la nature est globalement un puits car  $(y + z)$  est bien négatif. Ces 2 apports nets y et z entre 1980 et 2025 permettent d'avoir une contrainte sur chacun des flux F1 et F4.

## 2.2 Dimensionnement de F1

F1 sera quasi compatible avec la [figure 3.1a](#) du rapport AR3 WG1 qui propose  $F1 \approx 90 \text{ Gt-C/an} \pm 25\%$  vers 2000  
**Contrainte 1** : L'océan doit fournir un apport net de 288 Gt-C en 45 ans ( $F1 > F2$ ).

Estimation grossière en Gt-C/an :  $288 / 45 = 6,4 \rightarrow$  avec  $F1 \approx F2 + 6,4$  on respecte un apport net de 288 Gt-C en 45 ans. On rappelle que F2 est estimé par  $F2(t) = 0,114 X(t)$ .

De préférence à l'estimation grossière, on adopte finalement  $F1 = Z(t) / \tau_{oc}$  avec une durée de séjour variable (pour 1980-2025,  $\tau_{oc} \approx 340$  à 440 ans). Cette durée de séjour permet de respecter la contrainte 1 mais aussi d'avoir  $\tau_{oc}$  fonction de SSTi (température en surface de l'océan intertropical). Pour cela, on passe par l'intermédiaire de la pression partielle de  $\text{CO}_2$  dans l'océan ( $p\text{CO}_2$  est proportionnel à  $\text{SSTi}^{12,5}$ ).

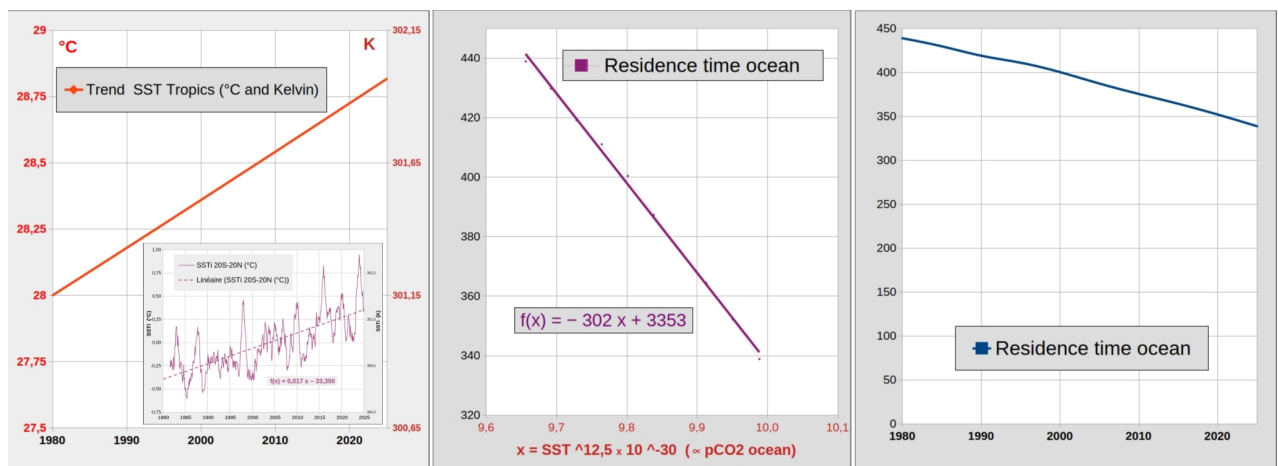


Figure 8 : Élaboration de la durée de séjour de l'océan en fonction de SST Tropics

## 2.3 Dimensionnement de F4

**Contrainte 2** : Végétation/Sol doit fournir un apport net de -463 Gt-C en 45 ans ( $F3 > F4$ ).

Estimation grossière en Gt-C/an :  $-463 / 45 = -10,3 \rightarrow$  avec  $F4 \approx F3 - 10,3$  on respecte l'apport net de -463 Gt-C en 45 ans. On rappelle que F3 est estimé par  $F3(t) = 0,086 X(t)$  en conformité avec [Haverd et al 2009](#).

De préférence à l'estimation grossière, on adopte finalement  $F4 = Y(t) / \tau_{veg}$  avec  $\tau_{veg} \approx 40$  ans, permettant de respecter la contrainte 2.

### Le modèle de Revisiting the carbon cycle

La [partie 1](#) de l'article expose les raisons qui ont guidé vers le modèle (étude des corrélations et  $\delta^{13}\text{C}$ ).

La [partie 2](#) de l'article présente le modèle utilisé dans les figures 14 et 15 du § 6 de 'Revisiting the carbon cycle'.

La [partie 3](#) fournit des illustrations pour mieux appréhender le modèle et répond aux objections les plus courantes.

Ces 3 parties sont aussi téléchargeables en version PDF :



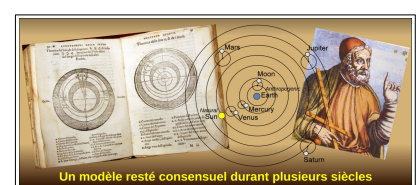
Un consensus est proclamé par le président de l'Académie des Sciences Agronomiques en 1948

[1/3](#)



Naguère, la science consensuelle permettait aux experts d'obtenir un maximum de blé

[2/3](#)



Un modèle resté consensuel durant plusieurs siècles

[3/3](#)